

PENGARUH VARIASI OPTICAL DENSITY BAKTERI *Bacillus subtilis* TERHADAP EFISIENSI LISTRIK MICROBIAL FUEL CELL

EFFECT OF VARIATION OF OPTICAL DENSITY *Bacillus subtilis* TO MICROBIAL FUEL CELL EFFICIENCY

*Aulia Cita Siswanti** dan *I Gusti Made Sanjaya*

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science
State University of Surabaya

Jl. Ketintang Surabaya (60231), telp 031-8298761

*Corresponding author, email: acita33@gmail.com

Abstrak. Telah dilakukan penelitian pengaruh variasi Optical Density bakteri *Bacillus subtilis* terhadap besarnya efisiensi Microbial Fuel Cell. Metode yang digunakan adalah mengalirkan substrat berupa larutan nutrisi jerami padi ke dalam ruang anoda sedangkan aquades digunakan untuk mengisi ruang katoda. Elektroda karbon aktif digunakan sebagai anoda dan tembaga sebagai katoda. Kemudian ditambahkan bakteri *Bacillus subtilis* pada ruang anoda. Bakteri melakukan metabolisme terhadap substrat di anoda dan mengubahnya menjadi energi listrik. Elektron mengalir melalui sirkuit luar menuju ke katoda sehingga menimbulkan arus listrik. Hasil penelitian diperoleh bahwa bakteri *Bacillus subtilis* dengan penambahan bakteri OD 0,5 efisiensi tertinggi yaitu 35,71%. Sedangkan pada penambahan jumlah bakteri OD 0 dan 1,0 menghasilkan efisiensi sebesar 18,32% dan 33,65%.

Kata Kunci: Microbial Fuel Cell, *Bacillus subtilis*, efisiensi.

Abstract. Conducted research on the impact of variation Optical Density (OD) bacterium *Bacillus subtilis* to the Microbial Fuel Cell efficiency. The method used is the flowing the substrate form of rice straw nutrient solution into the anode chamber while the water used to fill the cathode chamber. Activated carbon electrode is used as anode and copper as cathode. Then added *Bacillus subtilis* in the anode chamber. Bacteria doing metabolism process of the substrate in anode and convert it into electrical energy. Electrons flow through external circuit to the cathode, so giving rise to an electric current. The result showed that the *Bacillus subtilis* with the addition of OD 0.5 produced the highest efficiency was 35,71%. While the bacteria in the number of bacteria OD 0 and 1.0 produced efficiency of 18,32% and 33,65%.

Kata Kunci: Microbial Fuel Cell, *Bacillus subtilis*, efficiency.

PENDAHULUAN

Energi merupakan sumber daya yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan termasuk bahan bakar, listrik, energi mekanik, dan panas. Pemanfaatan sumber daya fosil untuk berbagai proses kegiatan perlu dilakukan eksplorasi lebih lanjut untuk menopangi kebutuhan konsumsi energi. Kebergantungan terhadap bahan bakar fosil setidaknya memiliki tiga ancaman serius, yakni menipisnya cadangan minyak bumi, ketidakstabilan harga, dan polusi gas rumah kaca akibat pembakaran bahan bakar fosil [2]. Berbagai cara telah diupayakan sebagai solusi mengatasi kebergantungan energi yang berasal dari sumber daya fosil.

Fuel cell merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi

peningkatan kebutuhan energi. Sistem ini bersifat ramah lingkungan, karena tidak menimbulkan pencemaran lingkungan, bahkan dapat digunakan untuk mengatasi pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan limbah.

Proses yang terjadi di dalam *fuel cell* merupakan kebalikan dari elektrolisis, yaitu hidrogen dan oksigen direaksikan dalam sel untuk memproduksi air dan arus listrik [Sitorus]. Unit dasar dari *fuel cell* yaitu terdiri dari dua elektroda yaitu anoda dan katoda, bahan bakar, dan elektrolit. Anoda merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi, sedangkan untuk katoda merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi.

Salah satu jenis dari *fuel cell* adalah *Microbial Fuel Cell* (MFC) yang memanfaatkan bakteri sebagai penghasil energi dengan cara memanfaatkan kemampuan metabolisme bakteri.

Bakteri digunakan dalam sistem *Microbial Fuel Cell* untuk menghasilkan energi listrik dan mengurai material organik dari substrat [3].

Microbial Fuel Cell tidak hanya bersifat ramah lingkungan, namun juga mampu menghasilkan energi listrik dari limbah, termasuk limbah organik. Salah satu limbah organik yang keberadaannya melimpah di alam adalah limbah organik selulotik. Limbah selulotik dapat berasal dari hasil pertanian yaitu jerami padi. Volume produksi padi secara Nasional mencapai 71,291 ton pada tahun 2013, diperkirakan jumlah total limbah jerami padi Nasional sebesar 36 juta ton [4]. Untuk mengurangi jumlah limbah organik yang berasal dari jerami padi dapat dilakukan dengan mengubahnya lebih bermanfaat dan bernilai ekonomis.

Jerami padi mengandung lignoselulosa yang dapat didegradasi oleh enzim selulase [1]. Jerami padi mengandung polimer dari lignoselulosa yaitu 32, 1% selulosa, 24% hemiselulosa, dan 18% lignin [5]. Oleh sebab itu jerami padi dapat digunakan sebagai substrat dalam ruang anoda pada *Microbial Fuel Cell* untuk didegradasi oleh bakteri sebagai penghasil energi alternatif.

Tanah mengandung banyak mikroba salah satunya adalah anggota genus *Bacillus* yang termasuk kedalam bakteri selulotik. Bakteri selulotik merupakan bakteri yang mampu menguraikan substrat yang berasal dari selulosa, termasuk jerami padi. Genus *Bacillus* merupakan bakteri yang bersifat aerobik sampai anaerobik fakultatif, sehingga bakteri genus *Bacillus* membutuhkan oksigen dalam proses pertumbuhan dan proses mendegradasi selulosa [9]. Spesies bakteri yang digunakan pada penelitian ini adalah *Bacillus subtilis*.

Penambahan jumlah sel bakteri pada ruang anoda akan memberikan efek berbeda pula terhadap nilai voltase yang dihasilkan. Jumlah sel bakteri dapat diukur dengan mengukur turbiditas cairan tumbuh. Turbiditas dapat diukur menggunakan spektrofotometer dengan nilai Optical Density (OD) yang setara dengan jumlah sel [10]. Perbedaan jumlah penambahan bakteri *Bacillus subtilis* pada sistem *Microbial Fuel Cell* akan menghasilkan efisiensi yang berbeda. Perbedaan jumlah bakteri akan mempengaruhi jumlah elektron yang dihasilkan di anoda, sehingga dapat mempengaruhi proses transfer elektron dari anoda ke katoda.

METODE PENELITIAN

Alat

Pembakar spirtus, Multimeter Digital DT830B, selang, wadah penampung larutan nutrisi, UV-VIS, mikropipet, autoklaf, *magnetic stirrer*, termometer, prototipe *Microbial Fuel Cell* yang terdiri dari 2 ruang yaitu anoda dan katoda.

Bahan

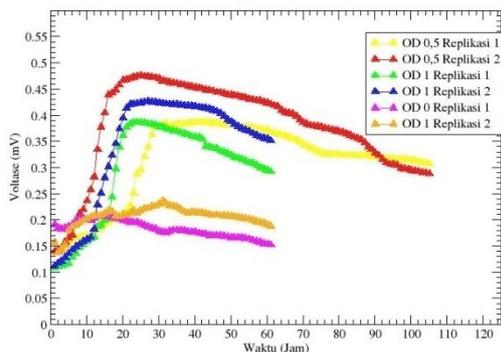
Aquades, CMC, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, KNO_3 , K_2HPO_4 , $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, reagen 3% H_2O_2 , H_2SO_4 0,5 M, ekstrak *yeast*, glukosa, elektroda karbon, HCl 1 N, NaOH 1%, elektroda tembaga, dan membran Nafion 117, jerami padi.

Prosedur Percobaan

Penelitian ini menggunakan sistem *Dual-Chamber* bersistem terbuka, yaitu terdiri dari 2 buah tabung kaca berukuran 250 mL yang diantara keduanya disekat oleh membran penukar proton, Nafion 117. Satu tabung kaca berfungsi sebagai ruang anoda yang diisi dengan larutan nutrisi jerami padi steril dan tabung kaca yang lain diisi dengan akuades berfungsi sebagai ruang katoda. Ruang anoda dihubungkan dengan wadah yang berisi larutan nutrisi jerami padi melalui selang yang dihubungkan dengan pompa untuk mengalirkan larutan nutrisi dan terdapat pula termometer di ruang anoda. Elektroda karbon aktif dimasukkan ke ruang anoda dan elektroda tembaga dimasukkan ke dalam ruang katoda. Kedua elektroda dihubungkan dengan menggunakan Multimeter Digital DT830B melalui kabel. Kemudian dimasukkan bakteri selulotik ke dalam ruang anoda yang telah dialirkan larutan nutrisi dengan menggunakan mikropipet. Penambahan bakteri dilakukan secara aseptik dengan menggunakan pembakar spirtus dan alkohol. Pada penelitian ini menggunakan jenis bakteri *Bacillus subtilis*. Selanjutnya dilakukan pengukuran nilai voltase pada sistem *Microbial Fuel Cell* menggunakan Multimeter setiap satu jam hingga mencapai nilai maksimum, setelah itu dihitung nilai efisiensinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukur voltase *Microbial Fuel Cell* penambahan bakteri *Bacillus subtilis* ditunjukkan melalui grafik hubungan antara waktu dan nilai voltase seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan antara waktu dan nilai voltase

Tabel 1. Suhu dan voltase maksimum sel bakar mikroba dengan variasi nilai OD bakteri selulotik

No.	OD bakteri	Voltase yang maksimum (V)	Suhu (°C)
1.	0 (tanpa bakteri)	0,207	34
		0,235	33
2.	0,5	0,386	35
		0,475	35
3.	1,0	0,386	33
		0,426	33

Penentuan harga efisiensi sel dilakukan dengan menghitung nilai entalpi reaksi standar pada suhu 25°C [ΔH_{25}^0] berdasarkan persamaan berikut:

$$\Delta H^0_{25} = [6(\Delta H_f^0 H_2CO_3) + 12(\Delta H_f^0 H_2)] - [(\Delta H_f^0 C_6H_{12}O_6) + 12(\Delta H_f^0 H_2O)]$$

dan dilakukan nilai dari kapasitas kalor per mol reaksi [ΔC_p] berdasarkan persamaan berikut:

$$\Delta C_p = [6(\Delta C_p H_2CO_3) + 6(\Delta C_p H_2)] - [(\Delta C_p C_6H_{12}O_6) + 3(\Delta C_p H_2O)]$$

Perolehan hasil perhitungan dari harga entalpi reaksi standar pada suhu 25°C sebesar 2802700 J/mol dan harga kapasitas kalor per mol reaksi sebesar 1070 J/mol K.

Penentuan harga entalpi reaksi pada suhu ketika sistem *Microbial Fuel Cell* menghasilkan voltase maksimum (T_2) dilakukan menggunakan persamaan:

$$\Delta H(T_2) = \Delta H^0_{25} + \Delta C_p(T_2 - 298 K)$$

Tabel 2. Entalpi reaksi pada suhu T_2

No.	OD bakteri	Entalpi reaksi pada suhu T_2 [ΔH_{T_2}] (J/mol)
1.	0 (tanpa bakteri)	-2794140
		-2794140
2.	0,5	-2792000
		-2792000
3.	1,0	-2794140
		-2794140

Setelah menentukan nilai entalpi reaksi, dilakukan perhitungan nilai energi bebas Gibbs pada reaksi menggunakan persamaan:

$$\Delta G = -\epsilon_{sel} \times n \times F$$

Tabel 3. Harga Energi bebas Gibbs

No.	OD bakteri	Energi bebas Gibbs [ΔG] (J/mol)
1.	0 (tanpa bakteri)	-479412
		-544260
2.	0,5	-893976
		-1100100
3.	1,0	-893976
		-986616

Nilai efisiensi *Microbial Fuel Cell* dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$\eta_{Fuel Cells} = \frac{\Delta G}{\Delta H} \times 100\%$$

Tabel 4. Rata-rata efisiensi *Microbial Fuel Cell*

No.	OD bakteri	Efisiensi Rata-rata <i>Microbial Fuel Cell</i> [η_{FC}] (%)
1.	0 (tanpa bakteri)	18,32
2.	0,5	35,71
3.	1,0	33,65

Berdasarkan hasil pengukuran voltase yang ditunjukkan pada Gambar. 1 dan perhitungan nilai efisiensi dapat diperoleh nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada penambahan OD 0,5 dengan nilai efisiensi sebesar 35,71%. Sedangkan untuk penambahan OD 1,0 bakteri menghasilkan efisiensi sebesar 33,65% dan efisiensi terendah dihasilkan pada OD 0 yaitu 18,32%. Besar kecilnya efisiensi yang dihasilkan oleh *Microbial Fuel Cell* dipengaruhi oleh bakteri yang memanfaatkan nutrisi yang terkandung dalam substrat. Semakin aktif mikroba melakukan metabolisme maka semakin banyak pula elektron bebas yang dihasilkan oleh sistem di ruang anoda[11]. Aliran elektron inilah yang menyebabkan beda

potensial antara kedua kutub (anoda dan katoda) yang dapat dideteksi oleh Multimeter. Semakin besar voltase yang dihasilkan maka semakin besar pula efisiensinya.

Penurunan nilai efisiensi terjadi seiring penambahan nilai OD bakteri sehubungan dengan penurunan nilai tegangan yang disebabkan oleh aktivitas bakteri dalam anoda yang dapat menimbulkan terbentuknya lapisan *biofilm* pada permukaan elektoda [6]. Efisiensi transfer elektron dari bakteri ke elektroda sebanding dengan jumlah bakteri yang melakukan kontak dengan elektroda [7]. Semakin banyak permukaan elektroda yang dipenuhi oleh lapisan *biofilm*, maka jumlah elektron yang ditransfer dari ruang anoda ke katoda melalui sirkuit luar semakin sedikit sehingga terjadi penurunan energi listrik.

Bakteri selulolitik memiliki kemampuan untuk menguraikan substrat yang berasal dari selulosa. Penelitian ini menggunakan substrat berupa jerami padi yang mengandung selulosa. Selulosa dihidrolisis secara enzimatis oleh bakteri selulolitik. Bakteri melakukan metabolisme terhadap substrat dan mengubahnya menjadi glukosa.

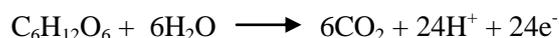


Ion H^+ yang terdapat dalam sel anoda diperoleh dari metabolisme yang dilakukan oleh bakteri. Senyawa NAD^+ menerima ataupun mendonorkan elektronnya dalam reaksi redoks dalam proses metabolisme. Proton dilepaskan ke dalam larutan ketika reduktan RH_2 dioksidasi dan NAD^+ direduksi menjadi $NADH$ melalui transfer hidrida menuju cincin nikotinamida. Berikut ini merupakan reaksi umum yang menghasilkan ion hidrogen dalam metabolisme:



Transport elektron yang dilakukan oleh bakteri menyebabkan H^+ dapat dipompa keluar menuju media. Fungsi transport elektron yang terjadi pada membran sebelah dalam adalah untuk memompa H^+ dari matriks ke medium [8]. Energi yang dibebaskan pada saat elektron mengalir dari substrat ke oksigen disepanjang rantai respirasi pada keadaan tertentu dapat menyebabkan transport H^+ dari matriks mitokondria ke dalam medium. Membran mengandung pompa H^+ yang memanfaatkan

energi bebas dari aliran elektron sebagai tenaga penarik untuk mengangkut H^+ ke luar. Reaksi yang terjadi pada anoda adalah:



Elektron akan mengalir keluar sistem melalui sirkuit luar, sedangkan ion hidrogen akan berpindah ke ruang katoda melalui membran Nafion 117 sehingga dapat menghasilkan listrik.

Ruang katoda pada sistem *Microbial Fuel Cell* bersifat tertutup sehingga oksigen tidak dapat masuk ke dalam ruang katoda. Ion hidrogen akan bereaksi dengan ion hidrogen yang lain sehingga diasumsikan akan membentuk gas H_2 sebagai hasil samping, namun apabila ruang katoda bersifat tertutup maka ion hidrogen akan bereaksi dengan oksigen membentuk air. Hasil samping yang terbentuk dalam sistem *Microbial Fuel Cell* bersifat *clean energy*. Reaksi yang terjadi pada ruang katoda pada saat sistem bersifat terbuka adalah:



Secara keseluruhan reaksi yang terjadi pada *Microbial Fuel Cell* dengan penambahan bakteri *Bacillus subtilis* adalah:



PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh variasi jumlah bakteri pada sistem *Microbial Fuel Cell*. Besar kecilnya efisiensi yang dihasilkan oleh *Microbial Fuel Cell* oleh bakteri yang hidup dan memanfaatkan nutrisi yang terkandung dalam substrat dan semakin aktif suatu mikroba dalam melakukan metabolisme maka makin banyak pula elektron bebas yang dihasilkan. Dari ketiga jenis penambahan jumlah bakteri, penambahan bakteri OD 0,5 memiliki nilai efisiensi terbesar yaitu 35,71% dibandingkan dengan penambahan bakteri OD 0 dan 1,0. Nilai efisiensi dari penambahan bakteri OD 0 dan 1,0 berturut-turut sebesar 18,32% dan 33,65%.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan untuk dilakukan penelitian

lanjutan tentang jumlah selulosa yang didegradasi oleh bakteri *Bacillus subtilis* dan jumlah glukosa yang diperoleh guna mengetahui lebih jelas

mengenai jumlah elektron dan proton yang dihasilkan pada sistem.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anindyawati, Trisanti. 2010. *Potensi Selulase dalam Mendegradasi Lignoselulosa Limbah Pertanian Untuk Pupuk Organik*. Bogor: Pusat Penelitian Bioteknologi-LIPI.
2. Ditjenbun. 2006. *Rencana Kegiatan Pembangunan Perkebunan Tahun 2007*. Direktorat Jenderal Perkebunan. Departemen Pertanian. Jakarta.
3. Du, Zhuwei, Haoran Li, Tingyue Gu. 2007. A State of the Art Review on Microbial Fuel Cells: a Promising Technology for Wastewater Treatment and Bioenergy: *Biotechnology Advances* 25 (2007) 464-482.
4. Fajar, Muhammad, Indra Topik Maulana, Undang Ahmad Dasuki. 2015. Isolasi Pektin dari Jerami Padi (*Oryza Sativa L.*) sebagai Bahan Dasar Pembuatan Edible Film untuk Pelapisan Buah. Bandung: *Prosiding Penelitian SPeSIA Unisba*.
5. Howard, R.L., Abotsi, E., J. van Rensburg E.L., and Howard, S. 2003. Lignocellulose Biotechnology: Issue of Bioconversion and Enzyme Production. *African J. of Biotech.* Vol 2(12), 602-619.
6. Kim, MH. 2009. An Analysis of Anaerobic Dual-Anode Chambered Microbial Fuel Cell (MFC) Performance. *Master's Thesis*, University of Tennessee.
7. Lee, Seung Won. Jeon, Bo Young. Park, Doo Hyun. 2010. Effect of Bacterial Size on Electricity Generation in a Single-Compartmented Microbial Fuel Cell. *Biotechnol Lett* 32: 483-487.
8. Lehninger, Albert L. 1994. *Dasar-dasar Biokimia Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
9. Noorlanyati. 1995. *Isolasi dan Karakterisasi Bacillus sp. Yang Mampu Menghasilkan Enzim Protease*. Semarang: Universitas Diponegoro.
10. Novitasari, Deni. 2011. *Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell (MFC) untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri Lactobacillus bulgaricus*. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
11. Sidharta, Mutiara L., dkk. 2007. *Pemanfaatan Limbah cair Sebagai Sumber Energi Listrik pada Microbial Fuel Cell*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
12. Sitorus, Berlian. 2010. Diversifikasi Sumber Energi Terbarukan melalui Penggunaan Air Buangan dalam Sel Elektrokimia Berbasis Mikroba. *Jurnal ELKHA* Vol. 2 No. 1. Pontianak: Universitas Tanjungpura

